

РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 332.1, 332.3

И.В. Наумов¹*Институт экономики Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия***С.С. Савченков²***Институт экономики Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ НАРУШЕНИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ³

Аннотация. Нарушение земель в совокупности с малой долей их рекультивации сегодня является серьезным фактором формирования экологических катастроф. Данный факт подтверждается наблюдаемой сегодня тяжелой экологической обстановкой в регионах России и стратегией экологической безопасности РФ. Целью данного исследования является оценка протекающих в региональных системах РФ процессов деградации земельных ресурсов, определение основных направлений их нарушения и восстановления с помощью методов экономико-математического и пространственного моделирования. В представленной работе раскрываются особенности авторского подхода к исследованию и моделированию пространственных особенностей развития процессов нарушения и рекультивации земель в региональных системах, который благодаря использованию множественного регрессионного анализа по методу наименьших квадратов позволяет установить основные причины деградации земельных ресурсов и их восстановления, построить среднесрочный прогноз их нарушения и рекультивации в будущем, а с помощью метода пространственной автокорреляции по методологии Морана П. выявить особенности межрегионального взаимовлияния в процессах нарушения и рекультивации земель, определить пространственные центры активного развития данных процессов и зоны их влияния. На фоне экологической неравномерности распределения нарушенных, уничтоженных земель к рекультивированным, прослеживается угроза экологической безопасности РФ, с помощью методов пространственного моделирования и регрессионного анализа были выявлены взаимовлияния отдельных регионов, где уровень нарушенных земель фактически в тысячи раз превышает восстановление, основными центрами деградации выступили минерально-сырьевые центры РФ, что в свою очередь приближает данные регионы к экологической катастрофе.

Ключевые слова: пространственная автокорреляция; глобальный и локальный индекс Морана; пространственная кластеризация; множественный регрессионный анализ; нарушенные земли; рекультивированные земли.

1. Актуальность исследования

Практически во всех регионах страны, как отмечено в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, сохраняется тенденция к ухудшению состояния земель и почв. Площадь нарушенных земель, утративших свою хозяйственную ценность или оказы-

вающих негативное воздействие на окружающую среду, составляет более 1 млн га⁴. Нарушение земель в совокупности с малой долей их рекультивации на сегодняшний день является серьезным фактором ухудшения экологической ситуации в регионах РФ. Поиск наличия пространственной взаимосвязи между территориями по вопросам

нарушения и рекультивирования земель в данных условиях становится особенно актуальным.

2. Обзор публикаций по теме исследований

Вклад в изучение вопросов использования и применения методов пространственного моделирования и ГИС-технологий для развития и оценки пространственного взаимовлияния территорий по вопросам исследования нарушения и рекультивации земель был сделан Демидовым А.А., Кобец А.С., Грицан Ю.И., Жуковым А.В. [1], Тужиковой О.Г. [2], Терехиным Э.А., Пилипенко Ю.В., Пичура В.И. [3–5], Чепелевым О.А., Бреус Д.С. [5], Лисецким Ф.Н. [6], Ротановой И.Н., Кошкаревым А.В., Медведевым А.А. [7], Усиковым В.И., Липиной Л.Н. [8], Трофименко С.В., Быковым В.Г. [9], Артюшенко В.В., Киселевым А.В., Степановым М.А. [10], Кияшко Г.А., Изотовой Е.А. [11], Пархоменко В.П. [12], Недиковой Е.В., Измайловым М.Д., Синицыным Д.В. [13], Стефановой Т.В., Шадским В.А., Туктаровым Р.Б., Гафуровым Р.Р., Забелиным С.А. [14] и многими другими.

Этими авторами сформированы методологические и методические подходы к исследованию взаимовлияния территорий по вопросам использования земель. При

этом отмечено, что моделирование является одним из важных научных этапов создания стратегии и тактики развития территории в целом. Методы пространственного моделирования процессов нарушения и рекультивации (восстановления) земель в данный период требуют развития принципов и методологических подходов их использования.

Правильно подобранный метод моделирования позволит спрогнозировать и достоверно оценить тенденции развития исследуемых показателей нарушения и восстановления земель. Для принятия рациональных решений необходимо оперировать современными методами, методиками и инструментами сбора данных, исследования, моделирования и прогнозирования в системе эколого-экономического мониторинга. Совершенствование методов пространственного моделирования оценки состояния земель, можно достичь путем использования пространственной автокорреляции, авторегрессии и геостатистических методов.

Построение пространственных моделей для применения к сфере устойчивого развития территорий прежде всего требует формализации исследуемого явления, это неотъемлемая часть построения пространственных моделей, для определения возможности взаимовлияния территорий. В первую очередь необходимо выбрать показатели, характеризующие состояние

¹ Наумов Илья Викторович – кандидат экономических наук, руководитель Лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); доцент Уральского государственного горного университета, доцент Уральского государственного экономического университета; e-mail: ilia_naumov@list.ru.

² Савченков Сергей Сергеевич – младший научный сотрудник Лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); e-mail: bullet574@mail.ru.

³ Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР на 2019 год Лаборатории моделирования пространственного развития территорий по теме «Методология моделирования пространственного развития макро-регионов в контексте обеспечения их экономической безопасности».

⁴ Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года : утверждено Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года №176 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420396664> (дата обращения: 21.11.2019).

социальной, экономической и экологической подсистемы исследуемых территорий. К данному условию склоняются все авторы, делая его основным условием построения пространственных моделей взаимовлияния территорий.

Значительный вклад в изучение вопроса экологической безопасности земель внесли Омариев Ш.Ш., Омаров Ш.К. [15], Стефанцова Т.В. [16], Калинин И.В., Братина А.А. [17], Абдрахманов Р.Ф., Батанов Б.Н. [18], Забураева Х.Ш. [19], Гайрабеков У.Т. [20], Михайлова А.И. [21], Арчегова И.Б., Лиханова И.А. [22], Рязанова О.А., Клещевский Ю.Н. [23], Брыжко В.Г. [24], Харионовский А.А., Данилов М.Ю. [25], Черезова Н.В. [26], Залесов С.В., Залесов Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетаев А.С., Толкач О.В. [27], Галаган Т.И. [28], Водолеев А.С., Андреев О.С., Захарова М.А., Таргаева Е.Е. [29], Липски С.А. [30]. Этими авторами сформированы и разработаны методология и методы определения угроз, относящихся к землепользованию, определены наиболее качественные методы рекультивации земель, сформированы классификации в отношении нарушенных и рекультивированных (восстановленных) земель.

3. Цель и гипотеза исследования

На фоне роста экологической нагрузки на регионы РФ и возрастающей вероятности экологической катастрофы наблюдается сильная дифференциация регионов по уровню деградации земельных ресурсов и их восстановлению⁵.

Гипотеза исследования состоит в том, что разработанный методический подход к проведению пространственной автокор-

реляции является оптимальным инструментом пространственной кластеризации процессов нарушения и рекультивации земель. Увеличение количества нарушенных земель на прямую влияет на экономико-социально-экологический потенциал региона, восстановление продуктивности и ценности нарушенных земель, а также улучшение условий окружающей среды является первоочередной и актуальной задачей.

Целью исследования послужил протекающий в региональных системах РФ процесс деградации земельных ресурсов, определение основных направлений их нарушения и восстановления (рекультивации) с помощью методов экономико-математического и пространственного моделирования. Улучшение экологической обстановки невозможно без участия государства, в связи с этим использовалась стратегия экологической безопасности РФ как основной указатель необходимости данного исследования.

4. Методика исследования

Настоящее исследование протекающих процессов нарушения и рекультивации (восстановления) земель основано на стратегии экологической безопасности РФ и данных, представляемых Федеральной службой государственной статистики (Росстатом).

Данные относятся к регионам РФ, появление глобальных различий между регионами в изменении количества нарушенных и рекультивированных (восстановленных) земель, так можно наиболее заметно показать разницу процессов деградации и восстановления земель в различных регионах РФ. Первое – общий принцип исследования соответствует рассмотрению текущего состояния земель в регионах РФ. Второе – определение качества земель и их состояния в регионах РФ, разность между нарушенными и рекультивированными (вос-

⁵ Правила проведения рекультивации и консервации земель : утверждено Постановлением Правительства РФ от 10 июля 2018 года №800 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550609080> (дата обращения: 15.10.2019).

становленными) землями. Третье – поиск взаимосвязи или же взаимовлияния регионов по нарушенным и рекультивированным (восстановленным) землям, определение однородности или дифференциации регионов по определенным признакам, свидетельствующим об угрозе деградации и уничтожения земель, а также определение рекультивации земель в регионах.

5. Результаты исследования

Высокие темпы развития минерально-сырьевой базы отдельных регионов, сильная сырьевая зависимость их экономики привели к существенной деградации земельных ресурсов в Ханты-Мансийском, Ямало-Ненецком автономном округах, Иркутской, Кемеровской, Амурской, Тюменской, Свердловской и Магаданской областях, Республике Саха, Коми, Красноярском и Забайкальском крае (рис. 1)⁶.

Тенденция ухудшения качества земель в данных регионах связана с тем, что они

являются минерально-сырьевыми и промышленными центрами в основном из-за добычи ресурсов и тяжелой промышленности, обстановка в данных регионах резко отличается от остальных⁷. Объем нарушенных в 2017 году земельных ресурсов в ХМАО превышает средний уровень по всем регионам в 20,1 раз, в ЯНАО – в 10 раз, в Кемеровской области – 7,4 раз, Иркутской области – 4,1 раз, Республике Коми – 3,7 раз, Республике Саха – 3,3 раза, Тюменской области и Красноярском крае – 2,7 раз. Для центральных и южных регионов, а также приграничных с Казахстаном,

⁶ Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : утверждено распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. №207-р [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/552378463> (дата обращения: 15.10.2019).

⁷ Балансовые уравнения геосистем. Роль биоты в геосистемах [Электронный ресурс]. URL: <https://ecodelo.org/contact> (дата обращения: 05.03.2019).



Рис. 1. Пространственная дифференциация регионов РФ по уровню нарушения земельных ресурсов в 2017 году

Монголией и Китаем характерны менее значительные тенденции деградации земельных ресурсов.

Пространственная дифференциация наблюдается и в процессах рекультивации нарушенных земель (рис. 2).

Во-первых, восстановление земельных ресурсов в 2017 году осуществлялось очень незначительными темпами, уровень рекультивации земельных ресурсов в 11 раз был меньше того ущерба, который нанесли земельным ресурсам предприятия при разработке месторождений, строительстве различных объектов. Не во всех регионах, в которых наблюдались серьезные проблемы нарушения земель, земли восстанавливались должным образом⁸. Объем рекультивированных земель в Ханты-Мансийском автономном округе превышал средний уровень по субъектам РФ всего в 9,2 раза, тогда как в том же регионе уровень нарушенных земель превышал средний уровень по РФ в 20,1 раз. Уровень восстановления

земельных ресурсов в Республике Коми в 2017 году превысил средний уровень в 9 раз, Тюменской области – 7,8 раз, Республике Саха (Якутия) – 7,6 раз, Красноярском крае – 4,9 раза⁹.

Во-вторых, пространственные приоритеты восстановления земель не соответствуют отмеченной региональной дифференциации нарушенных земельных ресурсов. Такой вывод был сделан в результате сопоставления рис. 1 и рис. 2. Только в двух субъектах РФ уровень рекультивации земель соответствовал их нарушению: в Ханты-Мансийском автономном округе и Красноярском крае. Приоритет в рекульти-

⁸ Рациональное и нерациональное природопользование [Электронный ресурс]. URL: <http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/racionalnoe-dopolzovanie.html> (дата обращения: 01.03.2019).

⁹ Цели и задачи рационального природопользования [Электронный ресурс]. URL: studopedia.ru/2...i-zadachi...prirodopolzovaniya.html (дата обращения: 05.03.2019).

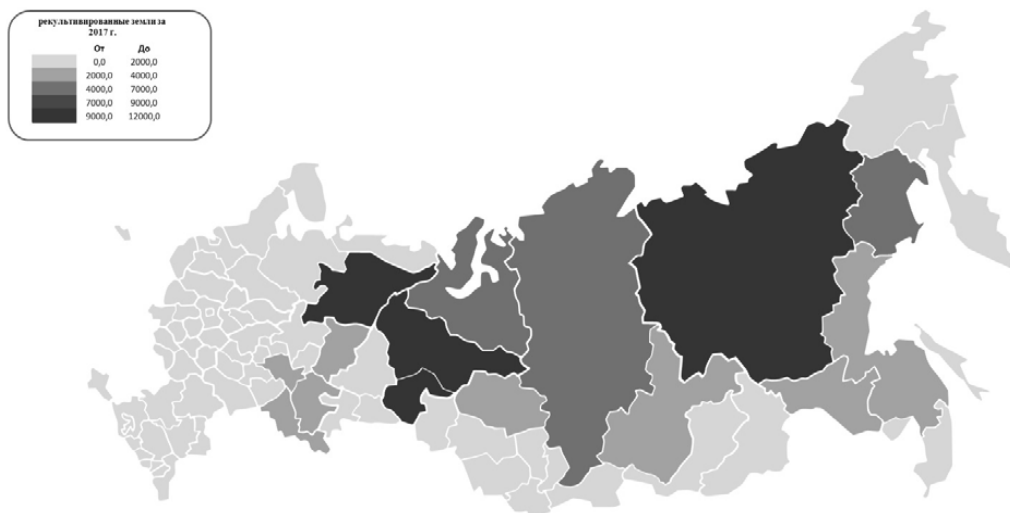


Рис. 2. Пространственная дифференциация регионов РФ по уровню рекультивации земельных ресурсов в 2017 году

вации земельных ресурсов в 2017 году отдавался регионам, у которых уровень нарушенных земель был не самым высоким, например Республике Саха (Якутия) и Коми, Тюменской области. Территории, у которых наблюдались самые серьезные проблемы с нарушением земельных ресурсов, такие как Ямало-Ненецкий автономный округ, Иркутская и Кемеровская области, наоборот, не привлекли необходимых финансовых ресурсов для их восстановления.

О пространственной дифференциации в процессах восстановления земель свидетельствует не только смещение региональных приоритетов среди территорий с высоким уровнем нарушенных земель, но и концентрация ресурсов для рекультивации земель в центральных регионах с невысоким уровнем нарушенных земельных ресурсов [31]. Данная тенденция была выявлена нами в результате сопоставления объемов рекультивации и нарушения земель по субъектам РФ (рис. 3). Для этого был использован следующий коэффициент соотношения (формула 1):

$$K_{\text{рсн}} = \frac{P_3}{H_3} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $K_{\text{рсн}}$ – коэффициент соотношения;
 P_3 – рекультивированно земель, га;
 H_3 – нарушено земель, га.

На представленном рисунке видно, что рекультивация нарушенных земель осуществлялась прежде всего в центральных и южных регионах, у которых согласно рис. 1 не наблюдалась такая острая проблема с нарушением земельных ресурсов, как в Уральском, Сибирском и Дальневосточном макроэкономических районах. На представленной диаграмме видно, что только в 3 регионах за 2017 год была произведена полная рекультивация земель: в городе Москва, Московской области, Республике Татарстан. В Ивановской области и еще 5 регионах (в Орловской, Саратовской, Самарской, Нижегородской областях и Республике Северная Осетия – Алания) рекультивация превысила 50 %. Во всех остальных регионах сохраняются тенденции ухудшения земель. В минерально-сы-



Рис. 3. Соотношение рекультивированных земель к нарушенным, %

рьевых центрах рекультивация земель не превысила 23 % от количества нарушенных земель, а в некоторых даже 8 % [31].

Для более исследования причин и последствий нарушения земельных ресурсов нами была использована причинно-следственная диаграмма Исикавы (рис. 4) [31].

Диаграмма Исикавы или графический метод анализа формирования причинно-следственных связей определяет влияние факторов на основную проблему недостаточной рекультивации земель. Все факторы, представленные в диаграмме, являются типовыми причинами нарушения земель-

ного потенциала для территорий с развитым минерально-сырьевым комплексом и промышленностью.

Для исследования причин деградации земельных ресурсов в региональных территориальных системах нами был проведен множественный регрессионный анализ по методу наименьших квадратов. В качестве зависимой (результативной) переменной был выбран объем нарушенных земель в гектарах, а в качестве независимых (факторных) переменных – объем нарушенных земель вследствие разработки месторождений полезных ископаемых (x_1), утечки при

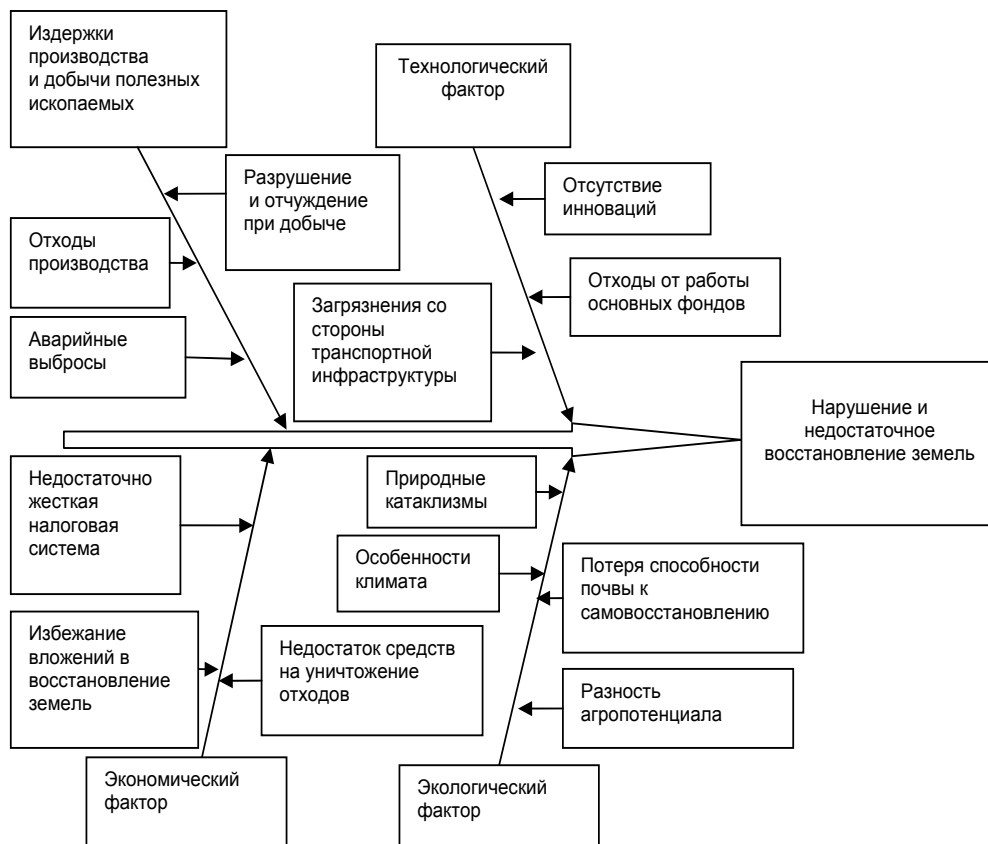


Рис. 4. Диаграмма Исикавы

транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти (x_2), при строительных работах (x_3), при мелиоративных работах (x_4), при лесозаготовительных работах (x_5), изыскательских работ (x_6), при размещении промышленных (в том числе строительных) и твердых бытовых отходов (x_7).

Корреляционный анализ зависимости данных переменных, выявление и устранение мультиколлинеарности между факторными признаками, поэтапное удаление данных переменных в ходе регрессионного анализа [32–35], результаты которого представлены в табл. 1, позволило установить влияние на уровень нарушенных земельных ресурсов таких причин, как разработка месторождений полезных ископаемых и проведение изыскательских работ, а также сформировать следующую функциональную зависимость между ними (формула 2) [36]:

$$V = 1,28 \cdot x_1 + 9,62 \cdot x_6, \quad (2)$$

где V – объем нарушенных земель в регионах РФ в 2017 году, га;

x_1 – объем нарушенных земель вследствие разработки месторождений полезных ископаемых, га;

x_6 – объем нарушенных земель вследствие проведения изыскательских работ, га.

Оценка достоверности построенной модели показала, что между переменными наблюдается тесная функциональная взаимосвязь. Об этом свидетельствует коэффициент корреляции, который превысил нормативное значение 0,7 ($R = 0,994$) и коэффициент детерминации ($R^2 = 0,989$). Оценка F значимости коэффициента детерминации ($F < 0,05$) позволила сделать вывод о статистической значимости данного параметра и модели в целом, достаточности 82 наблюдений для построения регрессионной модели. Была подтверждена и статистическая значимость коэффициентов регрессии (x_1 и x_6) поскольку их P -значения меньше 0,05. Для построенной регрессионной модели выполняются все необходимые условия Гаусса – Маркова, предпосылки МНК: математическое ожидание остатков равно нулю, в модели отсутствует мультиколлинеарность между факторными признаками и автокорреляция между остатками. Достоверность модели подтверждается и графически (рис. 5) [37, 38].

Таблица 1
Результаты регрессионного анализа причин нарушения земельных ресурсов
в субъектах РФ в 2017 году

| Регрессионная статистика | | | | | | |
|--------------------------|-------|--------------------|-----------------|------------|-------------|--------------|
| Множественный R | 0,994 | | | | | |
| R -квадрат | 0,989 | | | | | |
| Наблюдения | 82 | | | | | |
| Дисперсионный анализ | | | | | | |
| | df | SS | MS | F | F -знач. | |
| Регрессия | 2 | 1,12E+11 | 56074719505 | 3481,9 | 9,3E-78 | |
| Остаток | 80 | 1288358210 | 16104477 | | | |
| Итого | 82 | 1,13E+11 | | | | |
| Коэффициенты регрессии | | Стандартная ошибка | t -статистика | P -знач. | Нижние 95 % | Верхние 95 % |
| x_1 | 1,279 | 0,015 | 82,36 | 4,1E-79 | 1,249 | 1,310 |
| x_6 | 9,617 | 2,044 | 4,71 | 1,1E-05 | 5,55 | 13,685 |

На данном графике мы видим, что реальные значения объема нарушенных земель совпадают с полученными в ходе регрессионного моделирования. Это свидетельствует о высокой точности смоделированной зависимости. Таким образом, исследование показало, что основными причинами повышенного нарушения земель в Уральском, Сибирском и Дальневосточном макрорегионах являются разработка месторождений полезных ископаемых и проведение изыскательских работ. Это объясняет, почему в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономном округах, Иркутской и Кемеровской областях наблюдается серьезная проблема деградации земельных ресурсов [39–41].

Для исследования межрегиональных взаимовлияний в процессах нарушения земельных ресурсов, поиска пространственных центров с высокой концентрацией нарушенных земельных ресурсов и их зон влияния нами была использована методика пространственного автокорреляционного

анализа Морана П. Для расчета глобального и локального индексов Морана использовалась матрица стандартизированных дистанций между административными центрами субъектов РФ по дорогам. Такой способ учета расстояний между регионами является более точным, чем линейный, однако для пространственного автокорреляционного анализа могут использоваться и другие методы, например смежных границ, геоинформационных координат и др. Для оценки тесноты связи между региональными системами в процессах нарушения земельных ресурсов, а также их пространственной кластеризации рассчитывались локальные индексы автокорреляции I_{Li} для каждого региона по следующей формуле (формула 3) [42, 43]:

$$I_{Li} = N \cdot \frac{(x_i - \mu) \cdot \sum_j w_{ij} (x_j - \mu)}{\sum_j (x_j - \mu)^2}, \quad (3)$$

где N – число регионов;

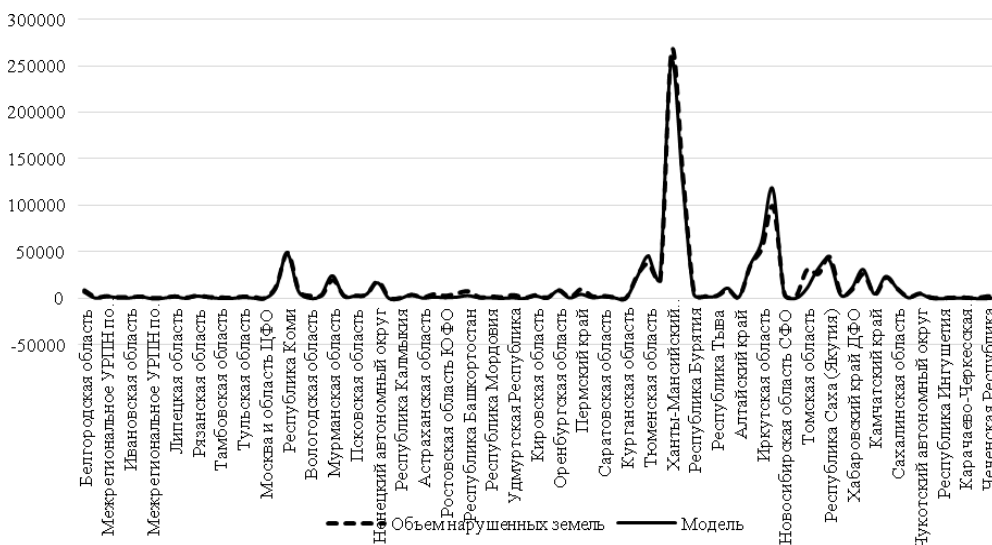


Рис. 5. Реальные и смоделированные значения объема нарушенных земель в субъектах РФ в 2017 году, га

w_{ij} – элемент матрицы пространственных весов для регионов i и j ;

μ – среднее значение показателя;

x_i – анализируемый показатель одного региона;

x_j – анализируемый показатель другого региона.

Анализ пространственной автокорреляции между региональными системами осуществлялся с помощью диаграммы рассеивания Морана, позволяющей распределить исследуемые регионы по четырем категориям (HH , HL , LL , LH) в зависимости от уровня нарушенности земельных ресурсов и особенностей их пространственного размещения. Согласно диаграмме рассеивания П. Морана, в квадранте HL находятся территории, являющиеся полюсами роста, «экстремумами» по сравнению с другими регионами. Регионы, располагающиеся в данном квадранте, оказывают сильное влияние на территории квадранта LH . Однако к «полюсам роста» мы предлагаем относить не все территории, попавшие в данный квадрант, а только те, значение локального индекса автокорреляции которых находится выше верхней границы разброса отклонения его значений, оцененных по всем регионам (формула 4) [42]:

$$I_{Li} > \left(\overline{I_{Li}} + \sqrt{\frac{\sum (I_{Li} - \overline{I_{Li}})^2}{n}} \right). \quad (4)$$

Региональные системы, значения локальных индексов автокорреляции которых лежат в диапазоне от среднего значения до верхней границы разброса и находящиеся в квадранте HH и LH , предлагаем относить к территориям, тесно связанным с выявленными «полюсами роста». Обзор научных работ по пространственной эконометрике показал, что многими авторами данные территории рассматривались в качестве зон взаимовлияния выявленных полюсов роста.

В результате проведения пространственного автокорреляционного исследования нарушенных земельных ресурсов вследствие разработки месторождений полезных ископаемых по субъектам РФ мы подтвердили полученные в ходе регрессионного анализа выводы о том, что центрами концентрации нарушенных земель являются такие регионы, как Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский автономные округа и Тюменская область, значения локальных индексов которых превышают среднее значение и среднеквадратичное отклонение по всем субъектам РФ (0,00151), к регионам с высоким уровнем нарушенных земельных ресурсов, выше среднего значения (0,00083), относятся Красноярский край и Кемеровская область (табл. 2).

Ярко выраженных полюсов роста или экстремумов по сравнению с другими регионами в уровне нарушенных земельных ресурсов, как и их зон влияния установлено не было, так как у регионов, находящихся в квадрантах HL и LH значения локальных индексов Морана существенно ниже среднего уровня.

Использование множественного регрессионного анализа по методу наименьших квадратов по данным, характеризующим процессы рекультивации земель, показало, что восстановление земель осуществляется по другим направлениям, не совпадающим с их причинами нарушения. В ходе регрессионного моделирования, результаты которого представлены в табл. 3, было установлено, что восстанавливаются не только земельные ресурсы, пострадавшие в результате разработки месторождений, но и при строительных и лесозаготовительных работах (формула 5) [43]:

$$V = 0,97 \cdot x_1 + 1,26 \cdot x_3 + 1,1 \cdot x_4, \quad (5)$$

где V – объем рекультивированных земель в регионах РФ в 2017 году, га;

x_1 – объем рекультивированных земель вследствие разработки месторождений полезных ископаемых, га;

x_3 – объем рекультивированных земель вследствие утечки при строительных работах, га;

x_4 – объем рекультивированных земель при лесозаготовительных работах, га.

Построенная модель по рекультивации земель показала, что нарушенные земли вследствие проведения изыскательских работ практически не восстанавливаются, приоритет отдается рекультивации земель после проведения строительных и лесозаготовительных работ. Возможно, это объяснимо наблюдающимися пространственными диспропорциями в процессах рекультивации земель, отмеченными на рис. 2.

Ведь земельные ресурсы Республики Саха (Якутия) и Коми, Кемеровской области и Красноярского края, которые имеют приоритет над остальными регионами при рекультивации земель, были нарушены вследствие лесозаготовительных и строительных работ. Если распределение финансовых ресурсов, направляемых на восстановление нарушенных земельных ресурсов было пропорционально нанесенному ущербу, то и направления рекультивации земель были бы иными: на восстановление земель, нарушенных в ходе разработки месторождений полезных ископаемых и проведения изыскательских работ.

Таблица 2

Таблица рассеивания значений локальных индексов Морана по уровню нарушенных земель вследствие разработки месторождений полезных ископаемых по субъектам РФ

| ЛН | | НН | |
|------------------------------|---------|--|-------------|
| Омская область | -0,0007 | Ямало-Ненецкий автономный округ | 0,003820949 |
| Курганская область | -0,0007 | Ханты-Мансийский автономный округ – Югра | 0,001902003 |
| Алтайский край | -0,0007 | Тюменская область | 0,001613996 |
| Новосибирская область | -0,0006 | Красноярский край | 0,000996492 |
| Республика Алтай | -0,0005 | Кемеровская область | 0,000864075 |
| Республика Бурятия | -0,0004 | Иркутская область | 0,000692594 |
| Томская область | -0,0003 | Забайкальский край | 0,000348418 |
| Еврейская автономная область | -0,0001 | Республика Саха (Якутия) | 0,000327041 |
| Республика Хакасия | -0,0001 | Свердловская область | 0,000267396 |
| Приморский край | -0,0001 | Челябинская область | 0,000146379 |
| Камчатский край | -0,0001 | Ненецкий автономный округ | 0,000118436 |
| Чукотский автономный округ | 0,0000 | Амурская область | 0,000105978 |
| Сахалинская область | 0,0000 | Магаданская область | 7,45256E-05 |
| LL | | HL | |
| Остальные субъекты РФ | | Республика Коми | -0,00011 |
| | | Мурманская область | -0,00008 |

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа направлений
рекультивации земельных ресурсов в субъектах РФ в 2017 году

| Регрессионная статистика | | | | | | |
|--------------------------|-------|--------------------|-----------------|------------|-------------|--------------|
| Множественный R | 0,995 | | | | | |
| R -квадрат | 0,991 | | | | | |
| Наблюдения | 82 | | | | | |
| Дисперсионный анализ | | | | | | |
| | df | SS | MS | F | F -знач. | |
| Регрессия | 3 | 5,72E+08 | 1,91E+08 | 2904,27 | 6,68E-80 | |
| Остаток | 79 | 5183070 | 65608,48 | | | |
| Итого | 82 | 5,77E+08 | | | | |
| Коэффициенты регрессии | | Стандартная ошибка | t -статистика | P -знач. | Нижние 95 % | Верхние 95 % |
| x_1 | 0,978 | 0,018 | 55,46 | 5,0E-65 | 0,943 | 1,013 |
| x_3 | 1,269 | 0,025 | 50,85 | 3,9E-62 | 1,22 | 1,319 |
| x_4 | 1,102 | 0,188 | 5,86 | 1,1E-07 | 0,728 | 1,475 |

Пространственное автокорреляционное исследование взаимосвязей между регионами в процессах рекультивации земель в результате разработки месторождений полезных ископаемых показало, что полюсом роста, аккумулирующим ресурсы для восстановления земельных ресурсов и распространяющим свое влияние на другие регионы, является Тюменская область, находящаяся в квадранте HL , значение локального индекса Морана которой выше среднего значения и среднеквадратичного отклонения по всем субъектам РФ (0,0019). К такому же типу территорий можно отнести и Оренбургскую область, чье влияние не является таким сильным, как у Тюменской области.

Результаты пространственного автокорреляционного исследования, представленные в табл. 4, подтверждают сделанные ранее выводы о том, что пространственный приоритет в процессах рекультивации земельных ресурсов смещен в сторону тер-

риторий с менее значимым ущербом от их нарушения. Кроме одного региона, земли которого были сильно нарушены (ХМАО), в квадрант HH согласно проведенному пространственному автокорреляционному исследованию, попали такие регионы, как Республика Саха (Якутия), Магаданская и Амурская области, проблема деградации земельных ресурсов которых не стоит так остро как в регионах Уральского федерального округа.

В квадрант HH в результате расчетов были размещены и другие регионы с высокими объемами рекультивированных земель и не такими существенными объемами нарушенных земель: Хабаровский, Забайкальский, Красноярский край и республика Хакасия. Таким образом, проведенный пространственный автокорреляционный анализ подтвердил наличие дифференциации регионов по уровню деградации земельных ресурсов и их восстановлению.

Несоответствие процессов рекультивации земельных ресурсов ущербу, который им был нанесен, проявилось и в ходе пространствен-

ного автокорреляционного анализа процессов рекультивации земель, нарушенных при проведении строительных работ (табл. 5).

Таблица 4

Таблица рассеивания значений локальных индексов Морана по уровню рекультивированных земель вследствие разработки месторождений полезных ископаемых по субъектам РФ

| ЛН | | НН | |
|------------------------------|----------|--|----------|
| Курганская область | -0,00137 | Ханты-Мансийский автономный округ – Югра | 0,00235 |
| Еврейская автономная область | -0,00084 | Республика Саха (Якутия) | 0,00221 |
| Республика Бурятия | -0,00066 | Магаданская область | 0,00149 |
| Омская область | -0,00051 | Амурская область | 0,00134 |
| Челябинская область | -0,00035 | Хабаровский край | 0,00080 |
| Свердловская область | -0,00027 | Забайкальский край | 0,00050 |
| Сахалинская область | -0,00016 | Иркутская область | 0,00049 |
| Томская область | -0,00014 | Ямало-Ненецкий автономный округ | 0,00046 |
| Новосибирская область | -0,00014 | Красноярский край | 0,00037 |
| Чукотский автономный округ | -0,00014 | Республика Хакасия | 0,00000 |
| Алтайский край | -0,00009 | Кемеровская область | 0,00000 |
| LL | | НН | |
| | | Тюменская область | -0,00462 |
| Остальные субъекты РФ | | Оренбургская область | -0,00158 |
| | | Республика Татарстан | -0,00001 |

Таблица 5

Таблица рассеивания значений локальных индексов Морана по уровню рекультивированных земель при строительных работах по субъектам РФ

| ЛН | | НН | |
|-----------------------------------|----------|--|----------|
| Кировская область | -0,00099 | Пермский край | 0,00365 |
| Свердловская область | -0,00082 | Ханты-Мансийский автономный округ – Югра | 0,00258 |
| Кемеровская область | -0,00071 | Республика Башкортостан | 0,00171 |
| Республика Хакасия | -0,00069 | Томская область | 0,00067 |
| Ненецкий автономный округ | -0,00054 | Ямало-Ненецкий автономный округ | 0,00063 |
| Курганская область | -0,00040 | Удмуртская Республика | 0,00022 |
| Омская область | -0,00039 | Красноярский край | 0,00016 |
| Новосибирская область | -0,00036 | Самарская область | 0,00002 |
| Алтайский край | -0,00035 | Республика Саха (Якутия) | 0,00000 |
| LL | | НН | |
| Республика Ингушетия | 0,00205 | Республика Коми | -0,00152 |
| Республика Северная Осетия-Алания | 0,00196 | Республика Татарстан | -0,00022 |

Исследование, результаты которого представлены в табл. 5, показало, что полюсом роста, центром притяжения ресурсов для восстановления земель после строительных работ является не Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, Кемеровская и Иркутская области, в которых проблемы нарушения земель стоят наиболее остро, а Республика Коми. Отрицательный коэффициент локального индекса Морана у данного региона свидетельствует о наличии обратной связи с другими регионами, рост уровня рекультивированных земель в данном регионе ведет к его снижению у других тесно связанных с ним территориальных систем. А зоной влияния Республики Коми по показателю восстановления земельных ресурсов являются такие регионы, как Кировская, Свердловская, Кемеровская области, Республика Хакасия¹⁰.

Подобная тенденция наблюдается и в квадранте *НН*, к регионам с высокими значениями уровня рекультивированных земель относятся территории с незначительными нарушениями земель при строительных работах: Пермский край, Республика Башкортостан и Томская область. Пространственное автокорреляционное исследование по методике П. Морана подтвердило выявленную в ходе графического и регрессионного анализа тенденцию несоответствия уровня рекультивации земель ущербу, нанесенному земельным ресурсам, а также тенденцию пространственной дифференциации регионов по уровню нарушения и восстановления земельных ресурсов. Восстановление земельных ресурсов таких регионов, как ХМАО, ЯНАО, Кемеровской и Иркутской областей, в которых нарушение земельных ресурсов является серьез-

ной проблемой, осуществляется по остаточному принципу. При этом значительные ресурсы направляются на восстановление земель центральных регионов с менее значительным ущербом [43].

Заключение

Высокие темпы развития минерально-сырьевой базы отдельных регионов, сильная сырьевая зависимость их экономики привела к существенной деградации земельных ресурсов в Ханты-Мансийском, Ямало-Ненецком автономных округах, Иркутской, Кемеровской областях. Объем нарушенных земельных ресурсов в данных регионах превышал средний уровень по всем субъектам РФ в десятки раз.

Графический анализ распределения нарушенных земельных ресурсов по субъектам РФ показал, что для центральных и южных регионов, а также приграничных с Казахстаном, Монголией и Китаем характерны менее значительные тенденции деградации земельных ресурсов. Такая концентрация нарушенных земель в Уральском и Сибирском макрорегионах, как показал множественный регрессионный анализ по методу наименьших квадратов, связан с разработкой на их территории месторождений полезных ископаемых и проведением изыскательских работ.

Исследование показало, что пространственные приоритеты восстановления земель не соответствуют отмеченной региональной дифференциации нарушенных земельных ресурсов. Только в двух субъектах РФ уровень рекультивации земель соответствовал их нарушению: в Ханты-Мансийском автономном округе и Красноярском крае. Приоритет в рекультивации земельных ресурсов в 2017 году отдавался регионам, у которых уровень нарушенных земель был не самым высоким, например в Республиках Саха (Якутия) и Коми, Тюменской области, а также

¹⁰ Линейные расстояния между регионами Р [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.distance.to/> (дата обращения: 01.02.2019).

центральный и южным регионам. Территории, у которых наблюдались самые серьезные проблемы с нарушением земельных ресурсов, наоборот, не привлекли необходимых финансовых ресурсов для их восстановления. По данным 2017 года, только в трех регионах была произведена полная рекультивация земель: в городе Москва, Московской области, Республике Татарстан.

Проблема наличия пространственной дифференциации регионов по уровню деградации и рекультивации земельных ресурсов была подтверждена в ходе проведения пространственного автокорреляционного анализа по методике Морана П. Использование данного инструмента позволило выявить регионы-полюса роста по уровню нарушенных и рекультивированных земель и тесно связанные с ними территории.

Список использованных источников

1. Демидов А.А., Кобец А.С., Грицан Ю.И., Жуков А.В. Пространственная агроэкология и рекультивация земель. Днепропетровск: Свидлер А.Л., 2013. 560 с.
2. Тужикова О.Г. Моделирование интегрального индикатора оценки устойчивого развития региона и практика его применения // Эколого-экономические проблемы развития регионов и страны : Межд. науч.-практ. конф. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 234–239.
3. Пичура В.И., Лисецкий Ф.Н. Пространственно-временное моделирование климатической обусловленности почвообразования в сухостепной зоне // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в европейской России и сопредельных странах : материалы VI Международ. науч. конф. Белгород: Политерра, 2015. С. 284–286.
4. Пичура В.И. Использование современных методов пространственно-временного моделирования и прогнозирования в системе эколого-агромелиоративного мониторинга // Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике : материалы II Междуна. науч.-практ. конф. молодых ученых. Белгород: Политерра, 2011. С. 40–41.
5. Терехин Э.А., Пилипенко Ю.В., Пичура В.И., Чепелев О.А., Бреус Д.С. Использование данных дистанционного зондирования земли и нейротехнологий для совершенствования мониторинга лесных массивов // Агроэкологический журнал. 2012. № 4. С. 41–47.
6. Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И., Бреус Д.С. Оценка и прогноз изменений содержания гумуса в степенных почвах с использованием геоинформационных и нейротехнологий // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 1. С. 24–28.
7. Ротанова И.Н., Кошкарев А.В., Медведев А.А. Использование материалов дистанционного зондирования земли для цифрового моделирования рельефа в составе региональных инфраструктур пространственных данных // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 3. С. 38–47.
8. Усиков В.И., Липина Л.Н. Использование информационных технологий в эколого-геохимической оценки отходов горно-обогатительных ком-

- бинатов юга Дальнего Востока // Экология промышленного производства. 2016. № 4 (96). С. 2–8.
9. Трофименко С.В., Быков В.Г. Пространственно-временные распределения землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения модуля скорости вращения земли // Вулканология и сейсмология. 2017. № 2. С. 45–58.
10. Артюшенко В.В., Киселев А.В., Степанов М.А. Моделирование корреляционных характеристик шумов координат распределенных объектов // Доклады академии наук высшей школы РФ. 2015. № 4 (29). С. 19–27. DOI: 10.17212/1727-2769-2015-4-19-27.
11. Кияшко Г.А., Изотова Е.А. Использование ГИС-анализа при определении эрозионной опасности территории // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2016. № 3. С. 38–42.
12. Пархоменко В.П. Модель климата с учетом глубинной циркуляции Мирового океана // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. Спец. выпуск «Математическое моделирование». 2011. С. 186–199.
13. Недикова Е.В., Измайлов М.Д., Синицын Д.В. О моделировании устойчивых ландшафтов на землях сельскохозяйственного назначения // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2018. № 1 (6). С. 73–76.
14. Шадских В.А., Туктаров Р.Б., Гафуров Р.Р., Забелин С.А. Рекомендации по использованию систем нейронных сетей и ГИС-технологий для оценки, пространственного моделирования и прогнозирования показателей плодородия и мелиоративного режима орошаемых земель. Энгельс: ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», 2016. 20 с.
15. Омариев Ш.Ш., Омаров Ш.К. Организация земель и севооборотов в условиях рекультивации нарушенных земель // Инновационное развитие аграрной науки и образования : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию чл.-корр. РАСХН, заслуженного деятеля РСФСР и ДР, профессора М.М. Джамбулатова. Махачкала: Издательство Дагестанского государственного аграрного университета им. М.М. Джамбулатова, 2016. С. 815–818.
16. Стефанцова Т.В. Анализ зависимости площади нарушенных земель от площади земель, отведенных для промышленных нужд // Интеграция аграрной науки и производства: состояние, проблемы и пути решения : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках XVIII Международной специализированной выставки «Агро-Комплекс-2008». Уфа: Издательство Башкирского государственного аграрного университета, 2008. С. 201–203.
17. Калинин И.В., Братина А.А. Способы рекультивации земель, нарушенных горными работами // Волгодонские чтения. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2005. С. 51–55.
18. Абдрахманов Р.Ф., Батанов Б.Н. Проблемы рекультивации техногенно нарушенных земель в Республике Башкортостан // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 1. С. 30–34.

19. Забураев Х.Ш. Нарушенные земли и проблемы их восстановления в структуре земельного фонда региона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные науки. 2008. Вып. 1. С. 20–25.
20. Гайрабеков У.Т. Рекультивация земель, нарушенных в ходе бурения скважин на нефть // Юг России: экология, развитие. 2007. № 3. С. 86–89.
21. Михайлова А.И. Экономико-математическая модель оценки и выбора варианта проведения лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 6. С. 254–259.
22. Арчегова И.Б., Лиханова И.А. Проблема биологической рекультивации и ее решение на Европейском Северо-Востоке на примере Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. № 1 (9). С. 29–34.
23. Рязанова О.А., Клещевский Ю.Н. Пути решения проблем рационального природопользования в Кемеровской области // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2019. № 1 (157). С. 107–111.
24. Брыжко В.Г. Назначение восстановления нарушенных земель в современных экономических условиях // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 105–109.
25. Харионовский А.А., Данилова М.Ю. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 3. С. 72–77.
26. Черезова Н.В. Проблемы проведения рекультивации нарушенных земель на примере песчаного карьера Пуровского района, ЯНАО // Аграрный вестник Урала. 2017. № 01 (155). С. 49–54.
27. Залесов С.В., Залесов Е.С., Зарипов Ю.В., Оплетев А.С., Толкач О.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 12. С. 63–67.
28. Галаган Т.И. Эколого-экономическая оценка пахотного слоя рекультивированных земель // Лесотехнический журнал. 2014. № 3. С. 285–290.
29. Водолеев А.С., Андреев О.С., Захарова М.А., Таргаева Е.Е. Реабилитация техногенно-нарушенных территорий агломерационного производства // Черная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 8 (1424). С. 92–98.
30. Липски С.А. Мониторинг и рекультивация нарушенных земель в арктической зоне Российской Федерации // Экологические системы и приборы. 2018. № 12. С. 3–12.
31. Балашенко В.В., Савченков С.С. Причины ухудшения качества земли // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов : труды VII Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2019. С. 28–33.
32. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа, 1988. 239 с.
33. Дарманиян А.П. Экономико-математические методы и модели : учебн. пособие. Волгоград: Издательство ВолГТУ, 2013. 126 с.
34. Айвазян С.А. Основы эконометрики. М.: Юнити, 2001. Т. 2. 656 с.

35. Доугерти К. Введение в эконометрику / пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 1999. 402 с.
36. Вахрушев В.В. Принципы японского управления. М.: ФОБЗ, 1992. 207 с.
37. Наумов И.В. Сценарное моделирование процессов движения финансовых потоков между институциональными секторами в региональной территориальной системе // Финансы: теория и практика. 2018. № 1 (22). С. 32–49.
38. Маслихина В.Ю. Пространственная неоднородность экономического развития региональных систем в России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2013. № 1. С. 5–16.
39. Балаш В.А., Балаш О.С. Модели линейной регрессии для панельных данных : учеб. пособие. М.: МЭСИ, 2002. 65 с.
40. Павлов Ю.В., Королева Е.Н. Пространственные взаимодействия: оценка на основе глобального и локального индексов Морана // Пространственная экономика. 2014. № 3. С. 95–110.
41. Тимирьянова В.М., Зимин А.Ф., Жилина Е.В. Пространственная составляющая в изменении розничного рынка товаров // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 1. С. 164–175.
42. Вапник В.И. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. 448 с.
43. Наумов И.В. Проблемы прогнозирования валового выпуска в региональной территориальной системе // Журнал экономической теории. 2017. № 4. С. 68–83.

Naumov I.V.

*Institute of Economics, the Ural Branch of RAS,
Ekaterinburg, Russia*

Savchenkov S.S.

*Institute of Economics, the Ural Branch of RAS,
Ekaterinburg, Russia*

MODELING OF SPATIAL FEATURES OF DEVELOPMENT OF PROCESSES OF DISTURBANCE AND REMEDIATION OF LANDS

Abstract. Violation and destruction of land, together with a small share of reclamation (restoration), leads to an environmental disaster, which is clearly shown by the environmental situation in the Russian Federation. This, in turn, is confirmed by the environmental safety strategy of the Russian Federation. The main goal of this study is to assess the processes of land degradation taking place in the regional systems of the Russian Federation, to determine the main directions of their violation and restoration (reclamation) using the methods of economic, mathematical and spatial modeling. The present work reveals the features of the author's approach to the study and modeling of spatial features of the development of disturbance and land reclamation processes in regional systems, which, thanks to the use of least-squares regression analysis, allows us to establish the main causes of degradation of land resources and their restoration, to build a medium-term forecast of their disturbance and reclamation in the future, and using the method of spatial autocorrelation according to the methodology of Moran P. to identify the features of interregional interference in the processes of disturbance and land reclamation, to identify spatial centers of active development of these processes and their zones of influence. Against the background of the environmental uneven distribution of disturbed lands to reclaimed (restored) ones, a threat to the environmental safety of the Russian Federation is traced, using spatial modeling and regression analysis; interferences of individual regions were identified where the level of disturbed lands is actually thousands of times higher than restoration, the main centers of degradation were mineral resource centers of the Russian Federation, which in turn brings these regions closer to an environmental disaster.

Key words: spatial autocorrelation; global and local Moran index; spatial clustering; multiple regression analysis; disturbed lands; reclaimed lands.

References

1. Demidov, A.A., Kobets, A.S., Gritsan, Iu.I., Zhukov, A.V. (2013). *Prostranstvennaia agroekologiya i rekultivatsiya zemel [Spatial Agro-Ecology and Land Reclamation]*. Dnepropetrovsk, Svidler A.L.
2. Tuzhikova, O.G. (2017). Modelirovanie integralnogo indikatora otsenki ustoichivogo razvitiia regiona i praktika ego primeneniia [Modelling of an integral indicator for assessing the sustainable development of a region and application practice]. *Proceedings of International Scientific and Practice Conference "Ecological and Economic Problems of the Development*

- of Regions and the Country*". Petrozavodsk, Karelia Science Center of RAS, 234–239.
3. Pichura, V.I., Lisetsky, F.N. (2015). Prostranstvenno-vremennoe modelirovanie klimaticheskoi obuslovlennosti pochvoobrazovaniia v sukhostepnoi zone [Spatial-temporal modeling of climate conditions for soil formation in the dry steppe zone]. *Proceedings of 6th International Scientific Conference "Problems of Nature Management and Environmental situation in the European part of Russia and Neighboring Countries"*. Belgorod, Politerra, 284–286.
 4. Pichura, V.I. (2011). Ispolzovanie sovremennykh metodov prostranstvenno-vremennogo modelirovaniia i prognozirovaniia v sisteme ekologo-agromeliorativnogo monitoring [Utilization of modern methods of spatial and temporal modeling and forecasting in the system of ecological and soil suitability monitoring]. *Proceedings of the 2nd International Conference for Young Scientists "Geo-Ecology and Rational Environmental Management: From Science to Practice"*. Belgorod, Politerra, 40–41.
 5. Terekhin, E.A., Pilipenko, Iu.V., Pichura, V.I., Chepelev, O.A., Breus, D.S. (2012). Ispolzovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniia zemli i neirotekhologii dlia sovershenstvovaniia monitoringa lesnykh massivov [Application of data obtained by remote sensing of the Earth and neurotechnology to improve forest monitoring]. *Agroekologicheskii zhurnal [Agro-Ecological Journal]*, No. 4, 41–47.
 6. Lisetsky, F.N., Pichura, V.I., Breus, D.S. (2017). Otsenka i prognoz izmenenii soderzhaniia gumusa v stepennykh pochvakh s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh i neirotekhologii [Assessment and forecasting of the humus content in steppe soil using geo-information and neurotechnology]. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka [Russian Agricultural Science]*, No. 1, 24–28.
 7. Rotanova, I.N., Koshkarev, A.V., Medvedev, A.A. (2014). Ispolzovanie materialov distantsionnogo zondirovaniia zemli dlia tsifrovogo modelirovaniia rel'efa v sostave regional'nykh infrastruktur prostranstvennykh dannykh (Application of remote sensing data for digital elevation modeling in regional spatial data infrastructure). *Vychislitelnye tekhnologii (Computational Technologies)*, Vol. 19, No. 3, 38–47.
 8. Usikov, V.I., Lipina, L.N. (2016). Ispolzovanie informatsionnykh tekhnologii v ekologo-geokhimicheskoi otsenki otkhodov gorno-obogatitel'nykh kombinatov iuga Dal'nego Vostoka [Use of information technology in eco-geochemical assessment of waste generated by mining and processing works in the south of the Far East]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of Industrial Production]*, No. 4 (96), 2–8.
 9. Trofimenko, S.V., Bykov, V.G. (2017). Prostranstvenno-vremennye raspredeleniia zemletriasenii severo-vostochnogo segmenta Amurskoi plity v dvukh fazakh izmeneniia modul'ia skorosti vrashcheniia zemli [Spatial and temporal distribution of earthquakes in the north-eastern segment of the Amurian Plate in two phases of the changes to the Earth rotation speed module] *Vulkanologiya i seismologiya [Volcanology and Seismology]*, No. 2, 45–58.

10. Artiushenko, V.V., Kiselev, A.V., Stepanov, M.A. (2015). Modelirovanie korreliatsionnykh kharakteristik shumov koordinat raspredelennykh ob'yektov (Modeling of correlation characteristics of distributed object angle noises). *Doklady akademii nauk vysshei shkoly RF (Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences)*, No. 4 (29), 19–27.
11. Kiyashko, G.A., Izotova, E.A. (2016). Ispol'zovanie GIS-analiza pri opredelenii erozionnoi opasnosti territorii (Application of GIS analysis for evaluation of erosion extension for region) *Modeli i tekhnologii prirodoobustroistva (regional'nyi aspekt) [Models and Technologies of Environmental Engineering (The Regional Aspect)]*, No. 3, 38–42.
12. Parkhomenko, V.P. (2011). Model klimata s uchetom glubinnoi tsirkulatsii Mirovogo okeana [A climate model considering depth circulation of the World Ocean]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennye nauki. Spets. vypusk «Matematicheskoe modelirovanie» (Vestnik MSTU. Natural Sciences. Mathematic Modelling)*, 186–199.
13. Nedikova, E.V., Izmailov, M.D., Sinitsyn, D.V. (2018). O modelirovanii ustoichivyykh landshaftov na zemliakh sel'skokhoziaistvennogo naznacheniiia [Modeling of sustainable landscapes on arable lands]. *Modeli i tekhnologii prirodoobustroistva (regional'nyi aspekt) [Models and Technologies of Environmental Engineering (The Regional Aspect)]*, No. 1 (6), 73–76.
14. Shadskikh, V.A., Tuktarov, R.B., Gafurov, R.R., Zabelin, S.A. (2016). Rekomendatsii po ispolzovaniiu sistem neironnykh setei i GIS-tekhnologii dlia otsenki, prostranstvennogo modelirovaniia i prognozirovaniia pokazatelei plodorodiia i meliorativnogo rezhima oroshaemykh zemel [Recommendations for the Use of Neural Network Systems and GIS Technology for Assessing, Spatial Modeling and Forecasting of Fertility and Amelioration Mode of Irrigated Land]. Engels, Volga Scientific-Research Institute of Hydrotechnology and Amelioration.
15. Omariev, Sh.Sh., Omarov, Sh.K. (2016). Organizatsiia zemel i sevooborotov v usloviakh rekultivatsii narushennykh zemel' [Arrangement of lands and crop rotation in the course of rehabilitation of disturbed lands]. *Proceedings of International Scientific Conference "Innovative Development of Agricultural Science and Education"*. Makhachkala, Dagestan Dzhambulatov State Agrarian University, 815–818.
16. Stefantsova, T.V. (2008). Analiz zavisimosti ploshchadi narushennykh zemel' ot ploshchadi zemel', otvedennykh dlia promyshlennykh nuzhd [Analysis of the dependence of the surface area of disturbed lands on the surface area of lands for industrial use]. *Proceedings of All-Russia Scientific Conference "Integration of Agrarian Science and Manufacturing: Current State of Affairs, Challenges and Solutions"*. Ufa, Bashkir State Agrarian University, 201–203.
17. Kalinin, I.V., Bratina, A.A. (2005). Sposoby rekul'tivatsii zemel', narushennykh gornymi rabotami [Ways of rehabilitation of lands disturbed by mining]. *Vologdinskie chteniia [Vologdinskiye Readings]*. Vladivostok, Far Eastern Federal University, 51–55.
18. Abdrakhmanov, R.F., Batanov, B.N. (2006). Problemy rekul'tivatsii

- tekhno-genno narushennykh zemel v Respublike Bashkortostan (Problems of technogenically disturbed lands recultivation in the Republic of Bashkortostan). *Melioratsiia i vodnoe khoziaistvo (Amelioration and Water Management)*, No. 1, 30–34.
19. Zaburaeva, Kh.Sh. (2008). Narushennye zemli i problemy ikh vosstanovleniia v strukture zemel'nogo fonda regiona (Spoiled lands of the Chechen Republic Land fund and their restoration). *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye nauki (IKBFU's Vestnik)*, Issue 1, 20–25.
 20. Gayrabekov, U.T. (2007). Rekultivatsiia zemel, narushennykh v khode bureniia skvazhin na neft [Restoration of soils disturbed by oil well drilling]. *Iug Rossii: ekologiia, razvitie (The South of Russia: Ecology, Development)*, No. 3, 86–89.
 21. Mikhailova, A.I. (2009). Ekonomiko-matematicheskaiia model otsenki i vybora varianta provedeniia lesokhoziaistvennoi rekultivatsii narushennykh zemel [Economic and mathematical model of assessment and selection of options for reclaiming disturbed lands for forestry]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (Mining Informational and Analytical Bulletin)*, No. 6, 254–259.
 22. Archegova, I.B., Likhanova, I.A. (2012). Problema biologicheskoi rekultivatsii i ee reshenie na Evropeiskom Severo-Vostoke na primere Respubliki Komi [The problem of biological rehabilitation and its solution in the North-East of Europe. The case of the Komi Republic]. *Izvestiia Komi nauchnogo tsentra UrO RAN [Bulletin of the Komi Science Centre of UrB RAS]*, No. 1 (9), 29–34.
 23. Ryazanova, O.A., Kleshchevsky, Iu.N. (2019). Puti resheniia problem ratsional'nogo prirodopolzovaniia v Kemerovskoi oblasti [Solutions to the problem of rational use of natural resources in Kemerovo Region]. *Ispolzovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii (Use and Protection of Natural Resources of Russia)*, No. 1 (157), 107–111.
 24. Bryzhko, V.G. (2017). Naznachenie vosstanovleniia narushennykh zemel' v sovremennykh ekonomicheskikh usloviakh [The purpose of the rehabilitation of disturbed lands under today's economic conditions]. *Fundamentalnye issledvaniia (Fundamental Research)*, No. 6, 105–109.
 25. Kharionovskii A.A., Danilova M.Iu. (2017). Rekultivatsiia narushennykh zemel' v ugol'noi promyshlennosti (Reclamation of disturbed lands in the coal industry). *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti (Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety))*, No. 3, 72–77.
 26. Cherezova, N.V. (2017). Problemy provedeniia rekultivatsii narushennykh zemel' na primere peschanogo karyera Purovskogo raiona, IaNAO (The problems of land reclamation on the example of the sand pit (In Pur Region, Yamal-Nenets District)). *Agrarnyi vestnik Urala (Agrarian Bulletin of the Urals)*, No. 01 (155), 49–54.
 27. Zalesov, S.V., Zalesov, E.S., Zaripov, Iu.V., Opletaev, A.S., Tolkach, O.V. (2018). Rekultivatsiia narushennykh zemel na mestorozhdenii tantal-berillii (Recultivation of Damaged Soils on Tantal-Berill Deposit). *Ekologiia i promyshlennost' Rossii (Ecology and Industry of Russia)*, Vol. 22, No. 12, 63–67.

28. Galagan, T.I. (2014). Ekologo-ekonomicheskaya otsenka pakhotnogo sloia rekul'tivirovannykh zemel (The economic-ecological estimation of arable layer of recultivated soils). *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Magazine]*, No. 3, 285–290.
29. Vodoleev, A.S., Andreev, O.S., Zakharova, M.A., Targaeva, E.E. (2018). Reabilitatsiya tekhnogennonarushennykh territorii aglomeratsionnogo proizvodstva (Rehabilitation of the man-caused disturbed territories of sinter production). *Chernaya metallurgiya (Ferrous Metallurgy)*, No. 8 (1424), 92–98.
30. Lipski, S.A. (2018). Monitoring i rekultivatsiya narushennykh zemel v arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii [Monitoring and rehabilitation of disturbed land in the Arctic area of Russia]. *Ekologicheskie sistemy i pribory (Ecological Systems and Devices)*, No. 12, 3–12.
31. Balashenko, V.V., Savchenkov, S.S. (2019). Prichiny ukhudsheniya kachestva zemli (Causes of the deterioration of land quality). *Proceedings of 7th International Scientific Conference "Environmental and Technogenic Safety"*. Ekaterinburg, 28–33.
32. Lvovsky, E.N. (1988). *Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul (Statistical Methods for Constructing Empirical Formulas)*. Moscow, Vysshaya Shkola.
33. Darmanian, A.P. (2013). *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli [Economic and Mathematical Methods and Models]*. Volgograd, VolgGTU.
34. Ayvazian, S.A. (2001). *Osnovy ekonometriki [Fundamentals of Econometrics]*. Moscow, Uniti. Vol. 2.
35. Dougherty, C. (2016). *Introduction to Econometrics*. Oxford University Press.
36. Vakhrushev, V.V. (1992). *Printsipy iaponskogo upravleniya [Principles of Japanese Management]*. Moscow, FOBZ.
37. Naumov, I.V. (2018). Stsenarnoe modelirovanie protsessov dvizheniya finansovykh potokov mezhdu institutsional'nymi sektorami v regional'noi territorial'noi sisteme (Scenario Modeling of Process of Movement of Financial Flows between Institutional Sectors in the Regional Territorial System). *Finansy: teoriya i praktika (Finance: Theory and Practice)*, No. 1 (22), 32–49.
38. Maslikhina, V.Iu. (2013). Prostranstvennaya neodnorodnost' ekonomicheskogo razvitiya regional'nykh sistem v Rossii (The dynamics of spatial inequality in the context of agglomeration processes intensification). *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie [Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Economics and Management]*, No. 1, 5–16.
39. Balash, V.A., Balash, O.S. (2002). *Modeli lineinoy regressii dlya panelnykh dannykh [Models of Linear Regression for Panel Data]*. Moscow, MESI.
40. Pavlov, Yu.V., Koroleva, E.N. (2014). Prostranstvennye vzaimodeystviya: otsenka na osnove global'nogo i lokal'nogo indeksov Morana (Spatial Interactions: Evaluation with the Help of Global and Local Moran's Index). *Prostranstvennaya ekonomika (Spatial Economics)*, No. 3, 95–110.
41. Timiryanova, V.M., Zimin, A.F., Zhilina, E.V. (2018) Prostranstvennaya sostavlyaiushchaya v izmenenii roznichnogo rynka tovarov (The Spatial Change of the Indicators

- of Consumer Market). *Ekonomika regiona (Economy of the Region)*, Vol. 14, Issue 1, 164–175.
42. Vapnik, V.I. (1979). *Vosstanovlenie zavisimostei po empiricheskim dannym (Estimation of Dependencies Based on Empirical Data)*. Moscow, Nauka.
43. Naumov, I.V. (2017). Problemy prognozirovaniia valovogo vypuska v regionalnoi territorialnoi sisteme [Problems of forecasting gross output in a regional territorial system]. *Zhurnal ekonomicheskoi teorii (Russian Journal of Economic Theory)*, No. 4, 68–83.

Information about the authors

Naumov Ilya Viktorovich – Candidate of Economic Sciences, Head of the Laboratory for Modeling Spatial Development of Territories, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia (620014, Ekaterinburg, Moskovskaya street, 29); Associate Professor of Ural State Mining University, Associate Professor of Ural State Economic University; e-mail: ilia_naumov@list.ru.

Savchenkov Sergei Sergeevich – Junior Researcher, Laboratory for Modeling Spatial Development of Territories, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia (620014, Ekaterinburg, Moskovskaya street, 29); e-mail: bullet574@mail.ru.

Для цитирования: Наумов И.В., Савченков С.С. Моделирование пространственных особенностей развития процессов нарушения и рекультивации земель // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2019. Т. 18, № 6. С. 802–825. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.6.039.

For Citation: Naumov I.V., Savchenkov S.S. Modeling of Spatial Features of Development of Processes of Disturbance and Remediation of Lands. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 2019, Vol. 18, No. 6, 802–825. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.6.039.

Информация о статье: дата поступления 1 октября 2019 г.; дата принятия к печати 23 ноября 2019 г.

Article Info: Received October 1, 2019; Accepted November 23, 2019.